

УДК 621.7.043

*Р. Г. АРГАТ, Р. Г. ПУЗИР, С. М. ЛЕЛЮХ, О. О. ПЕДУН***ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИТЯГУВАННЯ БЕЗ ПРИТИСКАННЯ ФЛАНЦЯ З КАНТУВАННЯМ ЗАГОТОВКИ ДНИЩА РЕСИВЕРА АВТОМОБІЛЯ**

Розглядається теоретичний підхід для визначення можливостей формоутворення витягуванням циліндричних деталей автомобілів та іншої техніки без притискання фланця заготовки. При цьому, утворення гофрів і їх подальше розпрямлення, пропонується використовувати для забезпечення необхідного ступеня деформації. Наводяться різні приклади позитивного використання втрати стійкості фланця заготовки для виготовлення циліндричних деталей, а також способи усунення утворення гофрів під час витягування без притискного кільця. Показано, що при знакозмінній деформації спостерігається менша, ніж при монотонній деформації, інтенсивність накопичення пошкоджень металу, тому ступінь деформації до руйнування під час знакозмінного навантаження більше пластичності металу, визначеної під час скручування зразків в одному напрямку. Витягування без притискання фланця заготовки викликає виникнення гофрів, а після її кантування і подальшому навантаженні вони розпрямляються і механічні характеристики металу відновлюються. Але відновлення початкових характеристик металу, наприклад, межі плинності, відбувається після деформації зворотного знаку більшого за модулем, ніж попередня її деформація. Величина приросту реверсивної деформації залежить від ставлення початкової межі плинності до межі плинності при певній деформації і величини параметра Баушінгера. Тому, для кожного матеріалу цей показник буде неоднаковим. У свою чергу, розкрита закономірність дозволяє принципово пояснити можливість виготовлення напівфабрикатів пропонованим способом і попередньо оцінити кількість кантовок під час витягуванні циліндричної деталі. Отримано теоретичні залежності для розрахунку розмірів деталі від кількості кантувань, початкового діаметра заготовки і механічних характеристик металу, що враховують зв'язок між знакозмінними деформаціями. При цьому для опису пластичного стану деформованого металу використовується модель Г. Бакхауза, згідно з якою компоненти координат центру поверхні навантаження визначатимуться з урахуванням спадковості деформування.

Ключові слова: витягування, кантування, гофри, втрата стійкості, модель пластичності, деформація, притиск, заготовка.

*Р. Г. АРГАТ, Р. Г. ПУЗЫРЬ, С. Н. ЛЕЛЮХ, А. А. ПЕДУН***ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ВЫТЯЖКИ БЕЗ ПРИЖИМА ФЛАНЦА С КАНТОВКОЙ ЗАГОТОВКИ ДНИЩА РЕСИВЕРА АВТОМОБИЛЯ**

Рассматривается теоретический подход для определения возможностей формообразования вытяжкой цилиндрических деталей автомобилей и другой техники без прижима фланца заготовки. При этом, образование гофров и их последующее распрямление, предлагается использовать для обеспечения необходимой степени деформации. Приводятся различные примеры положительного использования потери устойчивости фланца заготовки для изготовления цилиндрических деталей, а также способы устранения гофрообразования при вытяжке без прижимного кольца. Показано, что при знакопеременной деформации наблюдается меньшая, чем при монотонной деформации, интенсивность накопления повреждений металла, поэтому степень деформации до разрушения при знакопеременном нагружении больше пластичности металла, определенной при скручивании образцов в одном направлении. Вытяжка без прижима фланца заготовки вызывает возникновение гофров, а после ее кантовки и последующем нагружении они распрямляются и механические характеристики металла восстанавливаются. Но восстановление начальных характеристик металла, например, предела текучести, происходит после деформации обратного знака большей по модулю, чем предшествующая ей деформация. Величина приращения реверсивной деформации зависит от отношения начального предела текучести к пределу текучести при определенной деформации и величины параметра Баушингера. Поэтому, для каждого материала этот показатель будет неодинаковым. В свою очередь, раскрытая закономерность позволяет принципиально объяснить возможность изготовления полуфабрикатов предлагаемым способом и предварительно оценить количество кантовок при вытяжке цилиндрической детали. Получены теоретические зависимости для расчета размеров изготавливаемой детали от количества кантовок, начального диаметра заготовки и механических характеристик металла, учитывающие связь между знакопеременными деформациями. При этом для описания пластического состояния деформируемого металла используется модель Г. Бакхауза, согласно которой компоненты координат центра поверхности нагружения будут определяться с учетом наследственности деформирования.

Ключевые слова: вытяжка, кантовка, гофры, потеря устойчивости, модель пластичности, деформация, прижим, заготовка.

*R. G. ARHAT, R. G. PUZYR, S. N. LELUKH, O. O. PEDUN***THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF EXTRACTION WITHOUT CLIP HOLDER WITH CURTAIN PREPARATION OF THE BOTTOM OF THE RECEIVER OF THE CAR**

A theoretical approach is considered to determine the possibilities of forming by extracting cylindrical parts of automobiles and other equipment without pressing the workpiece flange. In this case, the formation of corrugations and their subsequent straightening is proposed to be used to provide the necessary degree of deformation. Various examples of the positive use of buckling flange stability for the manufacture of cylindrical parts, as well as ways to eliminate corrugation during drawing without a clamping ring are given. It was shown that with alternating deformation, a lesser rate of accumulation of metal damage is observed than with monotonic deformation, therefore, the degree of deformation to failure under alternating loading is greater than the ductility of the metal, determined by twisting the samples in one direction. Extraction without pressing the workpiece flange causes the appearance of corrugations, and after tilting and subsequent loading they straighten and the mechanical characteristics of the metal are restored. But the restoration of the initial characteristics of the metal, for example, the yield strength, occurs after the deformation of the opposite sign is greater in magnitude than the deformation preceding it. The magnitude of the increment of the reverse deformation depends on the ratio of the initial yield strength to the yield strength at a certain deformation and the value of the Bausinger parameter. Therefore, for each material this indicator will be uneven. In turn, the disclosed regularity allows us to fundamentally explain the possibility of manufacturing semi-finished products by the proposed method and to preliminarily estimate the number of grooves when extracting a cylindrical part. Theoretical dependences are obtained for calculating the dimensions of the manufactured part on the number of grooves, the initial diameter of the workpiece and the mechanical characteristics of the metal, taking into account the relationship between alternating deformations. In this case, the G. Bakhaus model is used to describe the plastic state of the wrought metal, according to which the components of the coordinates of the center of the loading surface will be determined taking into account the heredity of the deformation.

Key words: hood, tilting, corrugations, loss of stability, plasticity model, deformation, clamp, blank.

Вступ. Розвиток машинобудівного виробництва ґрунтується на сучасних досягненнях науково-технічного прогресу у всіх галузях і напрямках, починаючи з матеріалознавства і закінчуючи досягненнями науки в економіці та маркетинзі. Важливу роль у цьому розвитку займають сучасні методи виготовлення деталей машин і механізмів методами обробки металів тиском, які містять у собі риси не тільки заготівельного виробництва, але і складального, й основного з виготовленням кінцевої продукції. Процеси листового штампування як виду обробки металів тиском у холодному стані є високоефективними й економічними, за їх допомогою отримують кінцеві продукти високої якості з необхідним набором функціональних характеристик, розмірної точності та чистоти поверхні. Тобто вони відповідають вимогам, які висуваються на цьому етапі виробництва за енергоефективністю, економією матеріалів і гнучкості.

Здатність листоштампувальних виробництв в найкоротший термін до перестроювання на випуск нової продукції без значних матеріальних витрат стимулює розвиток нових технологічних процесів листового штампування, здатних реалізувати цей перехід і інтенсифікувати увесь виробничий процес. Якість продукції, що випускається при цьому має бути конкурентоспроможною, а забезпечується це набором фізико-механічних характеристик матеріалу і способом виготовлення. При цьому важливу роль відіграють методи оцінки та попереднього прогнозування якості виробів і їх експлуатаційних характеристик. Розвиток цих теоретичних методів, розробка нових теоретично-експериментальних методів оцінки дозволить скоротити час на технічну підготовку виробництва під час переходу на випуск нової партії деталей, знизити витрату матеріалів, які використовуються в пробних переходах або у виготовленні експериментального оснащення, що забезпечить найкращі умови для швидкого переналадження технологічних процесів.

Витягування без складкотримача зменшує металоємність оснащення і загалом спрощує процес. Але характеризується зменшеною висотою і коефіцієнтами витягування у порівнянні з однойменним способом деформування із застосуванням притиску. Прагнення інтенсифікувати штампування без притискання фланця заготовки призвело до створення великої кількості нових способів деформування і відповідного оснащення.

Мета роботи. Теоретично обґрунтувати можливість виготовлення циліндричних деталей витягуванням без застосування притиску фланця. Втрату стійкості у вигляді утворення гофрів використовувати для досягнення необхідного ступеня деформації.

Виклад основного матеріалу. Одним з основних способів листового штампування є витягування циліндричних деталей. Ці деталі як складальні одиниці та як окремі комплекси набули широкого поширення у всіх галузях машинобудування. Переважно розрізняють три способи витягування: витягування з

притисканням, витягування зі стоншенням стінок і витягування без притискання. Перші два способи застосовуються практично в усіх листоштампувальних цехах і спеціалізованих виробництвах, більшість ліній яких автоматизовані та розроблено науково обґрунтовані методики проектування технологічних процесів. Третій спосіб отримав менше поширення з огляду на його обмеженості та неспроможність за один перехід отримати значні ступені деформації, співмірні з деформаціями перших двох. Однак простота оснащення, обладнання, що застосовується, а також можливість швидкого переналадження на випуск нових виробів зумовлює необхідність подальшого розвитку цього способу. Багаторічний досвід застосування в листоштампувальні виробництва процесу витягування, а також наукові та експериментальні дослідження в даній області дозволили розділити і класифікувати цей процес (рис. 1.) на класи і підкласи, що сприяло розширенню уявлень про природу напружено-деформованого стану в кожному підкласі.

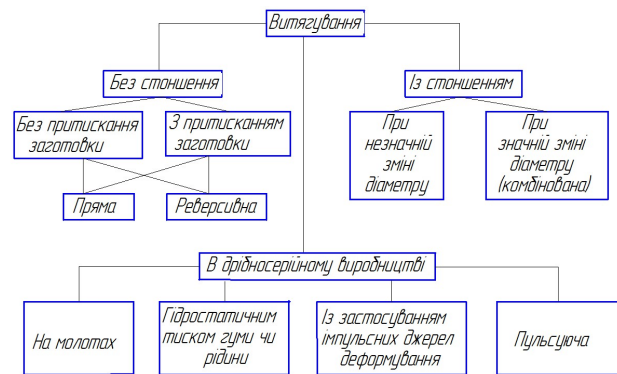


Рис. 1 – Класифікація процесу витягування

Механічні характеристики металу й умови деформування накладають певні обмеження на можливості граничного формоутворення. Практично всі операції листового штампування виконуються в умовах, близьких до плоского напруженого й об'ємного деформованого стану. Для них характерне місцеве стоншення стінки заготовки, що спричиняє утворення тріщини та руйнування або втрати стійкості у вигляді виникнення гофрів і складок. Застосування нових теоретичних підходів до розрахунку напружено-деформованого стану ділянок заготовки в осередку пластичної деформації в процесах листового штампування дозволить виявити формально підтверджені та раніше невиявлені чинники процесу та їх комбінації, які мають вирішальний вплив на виникнення браку. Залучення до аналітичного розрахунку більшої кількості граничних умов уточнить наявні залежності, розширить їх застосування на суміжні процеси листового штампування, що дозволить направлено впливати на поле напружень і деформацій з метою забезпечення розмірної якості виробів і набору функціональних властивостей.

З огляду на це значний науковий і практичний інтерес представляють розробка та дослідження технологічних процесів, заснованих на штампуванні без притискання, створення як нових, так і комбінованих способів. Тому розробка науково обґрунтованих методів розрахунку цих процесів є актуальним, значним науково-технічним завданням, упровадження якого робить істотний внесок у справу прискорення науково-технічного процесу в обробці металів тиском.

Витягування без складкотримача зменшує металоємність оснащення і загалом спрощує процес. Але характеризується зменшеною висотою і коефіцієнтами витягування у порівнянні з однойменним способом деформування із застосуванням притиску. Прагнення інтенсифікувати штампування без притискання фланця заготовки призвело до створення великої кількості нових способів деформування і відповідного оснащення. Теоретично обґрунтувати можливість виготовлення циліндричних деталей витягуванням без застосування притиску фланця. Втрату стійкості у вигляді утворення гофрів використовувати для досягнення необхідного ступеня деформації.

Для розширення можливостей витягування без притискання застосовують попередньо спрофільовану заготовку, заготовку у вигляді багатокутника з накатаними стоншеннями у вигляді циліндричних жолобів [1, 2]; витягування з технологічними накладками і контейнерне штампування [3, 4]. Також для збільшення глибини витягування деталі застосовують природне утворення гофрів у фланцевій частині з подальшим їх розгладженням [5–7, 8]. Змінюють геометрію матриці, наприклад, застосовують спрофільовану матрицю, з конічною західною частиною, а також з евольвентною поверхні з кільцевими канавками у вигляді ступенів [9, 10]. Однак ці методи ускладнюють виготовлення оснащення, або вимагають додаткових технологічних операцій перед витягуванням. Це не завжди економічно обґрунтовано, особливо в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва.

Сутність запропонованого способу полягає у витягуванні круглої заготовки до певної глибини з утворенням складок на фланцевій частині. Потім кантування заготовки на 180° , установка співвісна пуансону і матриці і деформування напівфабрикату в зворотному напрямку з «вивертанням» до розгладження складок і подальшого їх утворення. Потім знову кантування заготовки і повторне деформування. Таким чином, виконавши кілька кантувань можна отримати готовий виріб необхідного діаметра і висоти. Для його виготовлення в звичайних умовах витягування необхідно застосовувати притиск і проводити кілька витяжних переходів. Та обставина, що з кожним поворотом заготовки на 180° і навантаженні, висота циліндричного напівфабрикату збільшується, показано за допомогою моделі матеріалу з ізотропним зміцненням [11].

При цьому для опису пластичного стану деформованого металу використовується модель

Г. Бакхауза, згідно з якою компоненти координат центру поверхні навантаження визначатимуться за формулою [12]:

$$\alpha_{ij} = \frac{1 - \beta(e)}{3} \sigma_0(e) \frac{d\varepsilon_{ij}}{e} - \frac{1}{3} \int_0^e [1 - \beta(e^*)] \sigma_0(e^*) \phi(e - e^*) \frac{d^2\varepsilon_{ij}}{de^{*2}} de^*, \quad (1)$$

де $\sigma_0(e)$ – інтенсивність напруження, що є функцією накопиченої деформації e ;

$de = \sqrt{2d\varepsilon_{ij}d\varepsilon_{ij}}/3de$ – приріст накопиченої

деформації;

$d\varepsilon_{ij}$ – компоненти збільшень пластичних деформацій;

e^* – змінна інтегрування;

$\beta(e)$ – параметр, що характеризує ефект Баушінгера;

$\phi(e - e^*)$ – спадкова функція (або функція «пам'яті» матеріалу), що відображає властивості металу запам'ятовувати історію попереднього навантаження.

Ця модель вважає незалежність функцій $\sigma_0(e)$, $\beta(e)$, $\phi(e)$ від виду напруженого стану і історії навантаження і вони розглядаються як використовувані в моделі властивості матеріалу.

Якщо в процесі пластичного деформування координата центру поверхні навантаження буде дорівнювати $\alpha_{ij} = 0$, то матеріал має ізотропне зміцнення.

На підставі рівняння $\alpha_{ij} = 0$, з урахуванням аналізу деформованого стану отримано рівняння для визначення деформації ε_2 , при якій матеріал знову стає ізотропним за механічними властивостями, наприклад, по умовній межі плинності [11]

$$[1 - \beta(e_2)] \sigma_0(e_2) = [1 - \beta(e_1)] \sigma_0(e_1) \phi(e_2 - e_1). \quad (2)$$

Отже, використовуючи цей зв'язок між знакозмінними деформаціями, встановлюється залежність розмірів деталі від кількості кантувань, початкового діаметра заготовки і механічних властивостей металу.

З аналізу співвідношення (2) встановлено, що під час попередніх деформацій має місце залежність $\varepsilon_2 = \varepsilon_1(f)$, яка представляється лінійною функцією:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \Delta\varepsilon, \quad (3)$$

де $\Delta\varepsilon$ – приріст накопиченої деформації під час зворотного деформування, що забезпечує ефект ізотропного зміцнення.

У розгорнутому вигляді вираз (3) можна записати:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \frac{[1 - \beta(\varepsilon_2)]\sigma_0(\varepsilon_2)}{[1 - \beta(\varepsilon_1)]\sigma_0(\varepsilon_1)}. \quad (4)$$

Обговорення результатів. Зробимо розрахунок для заготовки з такими розмірами: $D_0=100$ мм; $s=1,5$ мм. Необхідно отримати деталь $D=50$ мм. Перевіряємо умови витягування за Романовським С. П.:

$$\frac{s}{D}100 \leq 4,5(1-m_1) - \frac{1,5}{100}100 \leq 4,5\left(1 - \frac{50}{100}\right) \rightarrow 1,5 \leq 2,25,$$

тобто витягування необхідно проводити з притисканням фланця. Висота деталі під час цього буде дорівнювати:

$$h = 0,25\left(\frac{D_0}{m} - d\right) = 0,25\left(\frac{100}{0,5} - 50\right) = 37,5 \text{ мм.}$$

Співвідношення (4) дає можливість визначити деформацію, яку необхідно надати заготовці після кантування її на 180° , щоб отримати ізотропію механічних властивостей (наприклад, відновлення межі плинності) для недеформованої заготовки. Це в свою чергу дасть можливість надати заготовці, яка повернута на 180° , велику деформацію зворотного знаку, а в цілому після декількох поворотів отримати деталь заданої висоти.

Зусилля витягування різко зростає після того як метал заготовки охопить витяжну кромку матриці і радіус заокруглення пуансона. Припустимо $r_m=5$ мм і $r_p=5$ мм – радіуси матриці і пуансона відповідно. Тоді висота напівфабрикату після першого етапу витягування буде дорівнювати $h_1=10$ мм. Логарифмічну деформацію визначимо не по діаметрам заготовки і готової деталі, а по висоті напівфабрикату – $\varepsilon_1 = \ln \frac{h_k - h_1}{h_k} = \ln \frac{37,5 - 10}{37,5} = 0,31$. Знаходимо межу плинності для сталі 08 кп по ступеневій залежності [13]

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + A\varepsilon^n = \sigma_{s0} + 3,4\varepsilon^{0,6}.$$

Далі, з [14] відомий коефіцієнт Баушінгера для сталі 08 кп. Після періоду насичення він складе – $\beta(\varepsilon_1)=0,7$. Знаходимо межу плинності при деформації зворотного знаку – $\sigma_s = \sigma_{s0} + A\varepsilon^n = (\sigma_{s0} + 3,4\varepsilon_1^{0,6})\beta(\varepsilon_1)$, де σ_{s0} – вихідна межа плинності, з довідкових даних [13] $\sigma_{s0} = 23$ кг/мм². Далі оцінюємо коефіцієнт Баушінгера під час деформації зворотного знаку ε_2 – $\beta(\varepsilon_2) = \frac{(\sigma_{s0} + 3,4\varepsilon_1^{0,6})\beta(\varepsilon_1)}{\sigma_{s0}}$. Підставляємо знайдене в вираз (4) і після деяких перетворень матимемо:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \frac{\left(1 - \frac{(\sigma_{s0} + 3,4\varepsilon_1^{0,6})\beta(\varepsilon_1)}{\sigma_{s0}}\right)\sigma_{s0}}{2(1 - \beta(\varepsilon_1))(\sigma_{s0} + 3,4\varepsilon_1^{0,6})\beta(\varepsilon_1)}. \quad (5)$$

Для заданих умов деформування матимемо:

$$\varepsilon_2 = 0,31 + \frac{\left(1 - \frac{(23 + 3,4 \cdot 31^{0,6}) \cdot 0,7}{23}\right)23}{2 \cdot (1 - 0,7)(23 + 3,4 \cdot 31^{0,6}) \cdot 0,2} = 0,43. \quad (6)$$

Цей результат дозволяє знайти висоту напівфабрикату після кантування заготовки на 180° і зворотній деформації, коли межа плинності буде приблизно дорівнювати початковій $h_2 = 13,8$ мм і $\Delta h = 3,8$ мм. Отже, необхідна кількість кантувань складе: $\frac{37,5 - 10}{3,8} \approx 8$.

При знакозмінній деформації спостерігається менша, ніж для монотонної деформації, інтенсивність накопичення пошкоджень металу, тому ступінь деформації до руйнування під час знакозмінного навантаження більше пластичності металу, що визначено під час скручування зразків в одному напрямку [14].

Висновки. З наведених теоретичних міркувань і наданих розрахунків виходить, що витягування без притискання фланця заготовки викликає виникнення гофрів, а після її кантування і подальшому навантаженні вони розпрямляються і механічні характеристики металу відновлюються. Але відновлення початкових характеристик металу, наприклад, межі плинності, відбувається після деформації зворотного знаку більшим за модулем, ніж попередня її деформація. Величина приросту реверсивної деформації залежить від співвідношення початкової межі плинності до межі плинності при певній деформації і величини параметра Баушінгера. Тому, для кожного матеріалу цей показник буде неоднаковим. У свою чергу, розкрита закономірність дозволяє принципово пояснити можливість виготовлення напівфабрикатів пропонованим способом і попередньо оцінити кількість кантувань під час витягування циліндричної деталі.

Список літератури

1. Коротков В. А., Яковлев С. С. Пат. 2056199, Российская Федерация. *Заготовка для вытяжки цилиндрического полуфабриката*. 1996.
2. Рапопорт С. И., Коваленко В. М., Рапопорт Л. Е., Белоноин Г. В., Кондратьев Б. В. Пат. 1542665, СССР. *Заготовка для вытяжки*. 1990.
3. Иванов В. Л. Пат. 2148460, Российская Федерация. *Способ вытяжки деталей из тонколистовых заготовок*. 2000.
4. Сизов Е. С., Бабуринов М. А., Елкин В. К., Богуславский Б. З., Алавердов В. Р., Елисеев О. В. Пат. 2118219, Российская Федерация. *Способ штамповки-вытяжки изделий из листового металла*. 1998.
5. Сизов Е. С. Пат. 2023523, Российская Федерация. *Способ вытяжки полых изделий из листового металла*. 1994.

6. Петряшин В. И., Нагаев Ю. К., Долженков Б. С., Мыка В. В. Пат. 1751913, Российская Федерация. *Устройство для вытяжки листовых изделий*. 1995.
7. Дорохин С. А. Пат. 1733163, СССР. *Устройство для глубокой вытяжки*. 1992.
8. Поздов И. Н., Поздов К. И. Пат. 2217257, Российская Федерация. *Способ вытяжки полых изделий из листовых заготовок*. 2003.
9. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке*. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
10. Калюжный О. В. Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2013. № 4 (37). С. 93–96.
11. Хван А. Д., Евдокимова Н. А. Изотропное упрочнение материалов реверсивным кручением. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА, 2009. № 1 (20). С. 36–40.
12. Бакхауз Г. Анизотропия упрочнения. Теория в сопоставлении с экспериментом. *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*. 1976. № 6. С. 12–129.
13. Третьяков А. В., Трофимов Г. К., Гурьянова М. К. *Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании*. Москва: Машиностроение, 1971. 63 с.
14. Багатов А. А. *Механические свойства и модели разрушения металлов: учебное пособие для вузов*. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 329 с.
15. Мовшович И. Я., Пузырь Р. Г. Расчет меридиональных напряжений на первой операции процесса радиально-ротационного профилирования ободьев колес. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2013. № 10. С. 3–7.
16. Savolov D., Dragobetsky V., Puzyr R., Markevych A. Peculiarities of vibrational press dynamics with hard-elastic restraints in the working regime of metal powders molding. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015, No. 2, pp. 67–75.
17. Puzyr R., Haikova T., Majernik J., Karkova M., Kmec J. Experimental Study of the Process of Radial Rotation Profiling of Wheel Rims Resulting in Formation and Technological Flattening of the Corrugations. *Manufacturing Technology*. 2018, No. 18 (1), pp. 106–111.
18. Пузырь Р. Г., Троцко О. В., Черкашенко В. Ю. Влияние геометрических параметров цилиндрической заготовки на напряженно-деформированное состояние при раздате коническими пуансонами. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2012. № 4 (33). С. 114–121.
19. Мосьян Д. В., Драгобецкий В. В., Пузырь Р. Г. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КДПУ, 2008. Вип. 6 (53), частина 2. С. 64–66.
20. Maslov A., Batsaikhan J., Puzyr R., Salenko Y. The determination of the parameters of a vibration machine for the internal compaction of concrete mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, Vol. 7, No. 4.3, pp. 12–19.
21. Puzyr R., Kukhar V., Maslov A., Shchipkovskiy Y. The Development of the Method for the Calculation of the Shaping Force in the Production of Vehicle Wheel Rims. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, Vol. 7, No. 4.3, pp. 30–34.
22. Драгобецкий В. В., Левченко Р. В., Пузырь Р. Г. Анализ нагружения заготовки при радиально-ротационном способе получения ободьев колес с измененной схемой внешнего воздействия. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА, 2012. № 1 (30). С. 146–149.
23. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г., Долгих О. Н. Оценка приемов, увеличивающих степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей без складкодержателя. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"*: зб. наук. пр. Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ "ХПІ", 2017. № 36 (1258). С. 5–9.
24. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г. Определение геометрических параметров листовой заготовки для вытяжки осесимметричных деталей, устраняющих потерю устойчивости фланца. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2013. № 2 (35). С. 118–123.
25. Пузырь Р. Г. Определение поверхностной нагрузки, вызывающей пластическую деформацию цилиндрической заготовки. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2013. № 2 (35). С. 99–105.
26. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г., Вакуленко Р. А. Вплив анізотропії і зміцнення металу на втрату стійкості фланця при витягуванні циліндричної деталі без складкоутримувача. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"*: зб. наук. пр. Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ "ХПІ", 2018. № 31 (1307). С. 3–7.
27. Arhat R., Puzyr R., Haikova T. & Markevych A. Theoretical investigations of the stressed state on the exchange rate of matrix at highly cylinder parts. *Physical & chemical geotechnologies*. Дніпро: НТУ «ДП», 2018, pp. 137–139.
28. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г., Долгих О. Н., Гриценко Б. С. Учет влияния упрочнения на поле напряжений при профилировании и вытяжке листового металла. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"*: зб. наук. пр. Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ "ХПІ", 2017. № 7 (1229). С. 5–9.

References (transliterated)

1. Korotkov V. A., Yakovlev S. S. *Zagotovka dlya vytyazhki tsilindricheskogo polufabrikata* [Blank for the extraction of a cylindrical semi-finished product]. Patent RF, no. 205619, 1996.
2. Rapoport S. I., Kovalenko V. M., Rapoport L. Ye., Belomoin G. V., Kondrat'yev B. V. *Zagotovka dlya vytyazhki* [Blank for hoods]. Patent USSR, no. 1542665, 1990.
3. Ivanov V. L. *Sposob vytyazhki detaley iz tonkolistovykh zagotovok* [The method of extracting parts from sheet blanks]. Patent RF, no. 2148460, 2000.
4. Sizov Ye. S., Baburin M. A., Yelkin V. K., Boguslavskiy B. Z., Alaverdov V. R., Yeliseyev O. V. *Sposob shtampovki-vytyazhki izdeliy iz listovogo metalla* [The method of stamping-drawing products from sheet metal]. Patent RF, no. 2118219, 1998.
5. Sizov Ye. S. *Sposob vytyazhki polykh izdeliy iz listovogo metalla* [A method of extracting hollow sheet metal products]. Patent RF, no. 2023523, 1994.
6. Petryashin V. I., Nagayev YU. K., Dolzhenkov B. S., Myka V. V. *Ustroystvo dlya vytyazhki listovykh izdeliy* [Device for drawing sheet products]. Patent RF, no. 1751913, 1995.
7. Dorokhin S. A. *Ustroystvo dlya glubokoy vytyazhki* [Device for deep drawing]. Patent USSR, no. 1733163, 1992.
8. Pozdov I. N., Pozdov K. I. *Sposob vytyazhki polykh izdeliy iz listovykh zagotovok* [The method of extracting hollow products from sheet blanks]. Patent RF, no. 2217257, 2003.
9. Romanovsky V. P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Cold stamping guide]. L.: Mechanical engineering, 1979, 520 p.
10. Kalyughiyi V. L. Zmenshennya kil'kosti perekhodiv vytyahuvannya visesyetrychnykh vyrobiv z vykorystanniam matrytsi spetsial'nogo profilyu [Reducing the number of transitions of the extraction of axisymmetric products using a special profile matrix]. *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnykh trudov* [Processing of materials pressure: collection of scientific works]. Kramatorsk: DGMA, 2013, No. 4 (37), pp. 93–96.
11. Khvan A. D., Yevdokimova N. A. Izotropnoye uprochneniye materialov reversivnym krucheniyem [Isotropic hardening of materials by reverse torsion]. *Obrabotka materialov davleniem* [Processing of materials pressure]. Kramatorsk: DGMA, 2009, No. 1 (20), pp. 36–40.
12. Bakkhausz G. Anizotropiya uprochneniya. Teoriya v sopostavlenii s eksperimentom [Anisotropy of hardening. Theory versus experiment]. *Izv. USSR Academy of Sciences. Solid mechanics*. 1976. No. 6. pp. 12–129.
13. Tret'yakov A. V., Trofimov G. K., Gur'yanova M. K. *Mekhanicheskiye svoystva staley i splavov pri plasticheskom deformirovani* [Mechanical properties of steels and alloys during plastic deformation]. Moscow: Mechanical engineering, 1971. 63 p.
14. Bagatov A. A. *Mekhanicheskiye svoystva i modeli razrusheniya metallov: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Mechanical properties and models of metal destruction: a textbook for universities]. Yekaterinburg: GOU VPO USTU-UPI, 2002. 332 p.
15. Movshovich, I. Ja., Puzyr, R. G. Raschet meridional'nyh naprjazhenij na pervoj operacii processa radial'no-rotacionnogo profilirovaniya obod'ev koles [Calculation of meridional stresses on the first operation of the process of radial-rotary profiling of wheel rims].

- Kuznechnoshtampovoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and stamping production. Pressure treatment]. 2013, No. 10, pp. 3–7.
16. Savelov D., Dragobetsky V., Puzyr R., Markevych A. Peculiarities of vibrational press dynamics with hard-elastic restraints in the working regime of metal powders molding. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015, No. 2, pp. 67–75.
 17. Puzyr R., Haikova T., Majernik J., Karkova M., Kmec J. Experimental Study of the Process of Radial Rotation Profiling of Wheel Rims Resulting in Formation and Technological Flattening of the Corrugations. *Manufacturing Technology*. 2018, No. 18 (1), pp. 106–111.
 18. Puzyr R. G., Trotsko O. V., Cherkashchenko V. Y. Vliyanie geometricheskikh parametrov tsilindricheskoy zagotovki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie pri razdache konicheskimi puansonami [Influence of geometrical parameters of cylindrical preparation on the intense deformed state at distribution by conic punches]. *Obrabotka materialov davleniyem: sbornik nauchnykh trudov* [Processing of materials pressure: collection of scientific works]. Kramatorsk: DGMA, 2012, No. 4 (33), pp. 114–121.
 19. Mos'pan D. V., Dragobetskiy V. V., Puzyr R. G. Opredelenie potrebnogo krutjashhego momenta pri radial'no-rotatsionnom profilirovanii obod'ev koles [Determination of the required torque at radial-rotational profiling of wheel rims]. *Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu imeni Mihajla Ostrograds'kogo* [Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University named after Mikhail Ostrogradsky]. Kremenchuk: KDPU, № 6.53, 2008, part 2, pp. 64–66.
 20. Maslov A., Batsaikhan J., Puzyr R., Salenko Y. The determination of the parameters of a vibration machine of the internal compaction of concrete mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, Vol. 7, No. 4.3, pp. 12–19.
 21. Puzyr R., Kukhar V., Maslov A., Shchipkovskiy Y. The Development of the Method for the Calculation of the Shaping Force in the Production of Vehicle Wheel Rims. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, Vol. 7, No. 4.3, pp. 30–34.
 22. Dragobetskiy V. V., Levchenko R. V., Puzyr' R. G. Analiz nagruzhennykh konstruksiy pri radial'no-rotatsionnom sposobe polucheniya obod'ev koles s izmenennoy skhemoy vneshnego vozdeystviya [Analysis of loaded structures with a radial-rotational method for producing wheel rims with a modified external exposure pattern]. *Obrabotka materialov davleniyem* [Processing of materials pressure]. Kramatorsk: DGMA, 2012, No. 1 (30), pp. 146–149.
 23. Arhat R. G., Puzyr R. G., Dolgih O. N. Otsenka priyemov, uvelichivayushchikh stepen' deformatsii pri vytyazhke tsilindricheskikh detaley bez skladkoderzhatelya [Evaluation of techniques that increase the degree of deformation in the extraction of cylindrical parts without a storage holder]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI"*: zb. nauk. pr. Ser.: *Innovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2017, No. 36(1258), pp. 5–9.
 24. Arhat R. G., Puzyr R. G. Opredeleniye geometricheskikh parametrov listovoy zagotovki dlya vytyazhki osesimmetrichnykh detaley, ustranyayushchikh poteryu ustoychivosti flantsa [Determination of the geometrical parameters of the sheet blank for drawing axisymmetric parts that eliminate the loss of stability of the flange]. *Obrabotka materialov davleniyem: sbornik nauchnykh trudov* [Processing of materials pressure: collection of scientific works]. Kramatorsk: DGMA, 2013, No. 2 (35), pp. 118–123.
 25. Puzyr' R. G. Opredeleniye poverkhnostnoy nagruzki, vyzyvayushchey plasticheskuyu deformatsiyu tsilindricheskoy zagotovki [Determination of the surface load causing plastic deformation of the cylindrical workpiece]. *Obrabotka materialov davleniyem: sbornik nauchnykh trudov* [Processing of materials pressure: collection of scientific works]. Kramatorsk: DGMA, 2013, No. 2 (35), pp. 99–105.
 26. Arhat R. H., Puzyr R. H., Vakulenko R. A. Vplyv anizotropiyi i zmitsnennya metalu na vtratu stiykosti flantsya pry vytyahuvanni tsylindrichnoyi detali bez skladkoutrymuvacha [Innovative technologies and equipment for materials processing in mechanical engineering and metallurgy]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI"*: zb. nauk. pr. Ser.: *Innovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2018, No. 31 (1307), pp. 3–7.
 27. Arhat R., Puzyr R., Haikova T. & Markevych A. Theoretical investigations of the stressed state on the exchange rate of matrix at highly cylinder parts. *Physical & chemical geotechnologies*. Дніпро: НТУ «ДІІ», 2018, pp. 137–139.
 28. Arhat R. G., Puzyr R. G., Dolgih O. N., Gritsenko B. S. Uchet vliyaniya uprochneniya na pole napryazheniy pri profilirovanii i vytyazhke listovogo metalla [Accounting for the effect of hardening on the stress field during profiling and drawing of sheet metal]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI"*: zb. nauk. pr. Ser.: *Innovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2017, No. 7 (1229), pp. 5–9.

Надійшла (received) 25.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аргат Роман Григорович (Аргат Роман Григорьевич, Arhat Roman) – кандидат технічних наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, старший викладач кафедри технологія машинобудування; м. Кременчук, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9247-5297>; e-mail: argat.rg@gmail.com.

Пузыр Руслан Григорович (Пузырь Руслан Григорьевич, Puzyr Ruslan) – доктор технічних наук, доцент, Коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доцент відділення машинобудування; м. Кременчук, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9791-9002>; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

Лелюх Сергій Миколайович (Лелюх Сергей Николаевич, Lelukh Serhiy) – аспірант, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, старший викладач кафедри технологія машинобудування; м. Кременчук, Україна.

Педун Олександр Олександрович (Педун Александр Александрович, Pedun Oleksandr) – аспірант, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, старший викладач кафедри технологія машинобудування; м. Кременчук, Україна.